

Ilkka Rutanen

Verkostolaskentaohjelmien vertailu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

5.5.2015

Tekijä Otsikko	Ilkka Rutanen Verkostolaskentaohjelmien vertailu
Sivumäärä Aika	32 sivua + liite 5.5.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Lehtori Tuomo Heikkinen Toimitusjohtaja Pekka Larinoja
<p>Insinööritöissä selvitettiin eri verkostolaskenta ohjelmistojen soveltuvuutta Insinööritoimisto Nurmi Oy:n käyttöön. Tarkoituksena oli tutustua eri vaihtoehtoihin ja sen perusteella tehdä päätelmiä siitä, mikä on paras vaihtoehto toimiston tarpeisiin tuottaa SFS 6000 -standardin mukaiset dokumentit sähköverkon mitoituksista sähkösuunnitelmien liitteeksi.</p> <p>Työssä tarkasteltiin kahta kaupallista ohjelmaa sekä yrityksen omaa Excel- taulukkolaskentaohjelmaa. Kaupallisiksi ohjelmiksi valittiin ennakkotutustumisen perusteella ABB:n DOC sekä norjalaisen NELFO:n ja Sähköinfo Oy:n kehittämä FebDok.</p> <p>Ohjelmien soveltuvuutta on havainnollistettu mallintamalla toteutettavan esimerkkikohteen sähköverkko. Esimerkkikohteenä toimi Kvarteret Victoria OP1. Näin saatiin konkreettinen käsitys siitä, miten ohjelmat sopivat jokapäiväiseen suunnitteluun.</p> <p>Työssä on tulkittu saatuja tuloksia ja dokumentteja ja niiden pohjalta on pyritty kehittämään Insinööritoimisto Nurmi Oy:n omia suunnittelumenetelmiä. Lopuksi on myös esitetty parannusehdotuksia käytettyihin ohjelmistoihin.</p> <p>Työn tuloksena valittiin FebDok-sähköverkon mitoitusohjelma Insinööritoimisto Nurmi Oy:n käyttöön. Lisäksi saatiin SFS 6000 -standardin vaatimat dokumentit sähköverkon mitoituksista esimerkkinä käytettyyn suunnittelukohteeseen.</p>	
Avainsanat	sähkösuunnittelu, FebDok, verkostolaskenta

Author Title	Ilkka Rutanen Electrical Network Calculation Software Comparison
Number of Pages Date	32 pages + appendix 5 May 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Tuomo Heikkinen, Senior Lecturer Pekka Larinoja, Managing Director
<p>The thesis examined various network calculation software compatibility with Engineering company Nurmi Oy. The aim was to explore different options and to draw conclusions about what is the best option for company needs to produce documents for electrical plans attachment according to the relevant standards.</p> <p>The study examined two types of commercial software and the company's own Excel spreadsheet program. Commercial programs selected were ABB's DOC and FebDok which is developed in co-operation of Norwegian NELFO and Sähköinfo Oy.</p> <p>The suitability of programs are demonstrated with an example project, Kvarteret Victoria OP1, by modeling its electricity grid. This gave a concrete understanding how the programs are suitable for everyday design.</p> <p>The results and the documents were interpreted and based on them, efforts were made to develop the company's own design methods. Finally, improvement suggestions were given to the software used.</p> <p>As a result, FebDok grid design software was selected to company's use. In addition, the documentation of electrical installations according to SFS 6000- standard was produced.</p>	
Keywords	electrical design, FebDok, network calculation

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Sähkölaitteiston suojaus	2
2.1	Suunnittelun lähtötiedot	2
2.2	Kuormitettavuus ja ylikuormitussuojaus	3
2.3	Oikosulkusuojaus ja oikosulkuvirrat	4
2.4	Vikasuojaus	5
2.5	Jännitteenalenema	7
2.6	Selektiivisyys	8
2.7	Dokumentointi	10
3	Mallinnettava suunnittelukohde	11
4	Vertailtavat ohjelmat	12
4.1	ABB DOC -mitoitushjelma	13
4.2	Febdok-mitoitushjelma	16
4.3	Excel-taulukkolaskentaohjelma	18
5	Kohteen sähköverkon mallintaminen	20
5.1	Kohteen lähtötiedot	20
5.2	Ohjelman perusasetukset	21
5.3	Projektin luonti ja uuden laitteiston perustaminen	22
5.4	Jakokeskusten määrittäminen	25
5.5	Kuormien määrittäminen	28
5.6	Dokumentointi	28
6	Tulosten käsittely	30
7	Yhteenveto	30
	Lähteet	32

Liite1. Asennuksen dokumentointi

Lyhenteet ja käsitteet

CAD	Computer Aided Design. Tietokoneavusteinen suunnittelu.
Epäselektiivisyys	Selektiivisyyden virhetoiminta, jolloin vian sattuessa useampi suojalaite toimii ja katkaisee näin ollen tarpeettoman suuren alueen verkosta jännitteettömäksi.
IFC	Industry Foundation Classes. Kansainvälinen standardi tiedonsiirtoon tietokonejärjestelmästä toiseen.
Kosketusjännite	Jännite, joka esiintyy suojamaadoitetun laitteen rungon ja maan potentiaalin välillä.
Potentiaalintasaus	Johtavien osien välinen sähköinen liitântä, jonka tarkoituksena on saavuttaa tasapotentiaali
Selektiivisyys	Selektiivisyydellä tarkoitetaan sitä, että ainoastaan lähinnä vikapaikkaa oleva suojalaite toimii.
TN-C-S	Jakelujärjestelmä, jossa on yhdistetty nolla- ja suojamaadoitusjohdin osassa järjestelmää.

1 Johdanto

Tämä insinöörityö käsittelee Insinööritoimisto Nurmi Oy:n suunnittelumenetelmien kehittämistä sähköverkon mitoituksessa. Työ on tehty toimeksiantona Insinööritoimisto Nurmi Oy:lle.

Insinööritoimisto Nurmi Oy on vuodesta 1972 alkaen alalla toiminut helsinkiläinen yritys, joka on erikoistunut rakentamisen ja kiinteistöpidon palveluihin. Sen päätoimialat ovat sähkö-, automaatio-, tele-, turva-, ja AV-tekniikan suunnittelu ja konsultointi sekä kiinteistönpidon asiantuntijatehtävät. Yritys on toiminut alalla jo yli 40 vuotta, joten se on alalla vakiintunut, tunnettu ja luotettava. Insinööritoimisto Nurmi Oy on valittu vuoden sähkösuunnittelijaksi 2008, ja se työllistää nykyisin 16 henkilöä.

Uusiutunut pienjännitesähköasennuksia käsittelevä SFS 6000-standardi (2012) korostaa suunnittelun merkitystä sähkölaitteiston suojauksen mitoituksessa. Standardin mukaan suunnitteludokumenteista tulee käydä ilmi, että sähköasennuksen suojausta koskevat perusvaatimukset täyttyvät.

Suojauksen perusvaatimuksia ovat ylikuormitussuojaus, oikosulkusuojaus ja vikasuojaus. Dokumenttien tulee myös sisältää yksityiskohtaisesti kaikki olennaiset tiedot virtapiirin mitoituksen kannalta, kuten johtimien tyypit, poikkipinnat ja pituudet, suojalaitetiedot sekä oikosulkuvirtojen arvot.

Tähän asti yrityksessä on laskelmat esitetty omalla Excel-tilukkolaskentaohjelmalla. Kiristyneiden vaatimusten takia harkittiin kaupallisen ohjelman käyttöönottoa, mikä helpottaisi suunnittelijoiden jokapäiväistä työskentelyä.

Työssä verrataan kaupallisia ohjelmia nykyiseen menetelmään ja tämän pohjalta tehdään johtopäätöksiä, kannattaako kaupallinen ohjelma ottaa yrityksen käyttöön vai jatkaa vanhalla menetelmällä. Alkuperäisenä tavoitteena oli saada samalla tuotettua toteutettavaan suunnittelukohteeseen standardin vaatimat dokumentit sähköverkon mitoitukselta.

2 Sähkölaitteiston suojaus

Kun kohteen sähkönjakelua suunnitellaan, suunnittelijan tulee ottaa huomioon useita turvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä. Sähköasennusta suunniteltaessa on varmistuttava, että ihmisten, kotieläinten ja omaisuuden suojaus toteutuu ja että sähköasennus toimii tarkoitetulla tavalla tarkoitetussa käytössä.

Suunnittelun perustaksi tarvittavat tiedot luetellaan SFS 6000 -standardin kohdissa 132.2 - 132.5. Vaatimukset, joiden mukaan suunnittelu toteutetaan, on annettu kohdissa 132.6 - 132.12. Suunnitteluvaiheessa on myös laskelmilla tai muilla tavoin osoitettava, että suojauksen perusvaatimukset täyttyvät. Näiden vaatimusten täyttyminen on osoitettava SFS 6000 -standardin osan 5-51 mukaisissa dokumenteissa [1, s. 30 - 32].

Suojauksen perusvaatimuksilla tarkoitetaan ylikuormitussuojausta, oikosulkusuojausta ja vikasuojausta. SFS 6000 -standardi ei sisällä ehdottomia vaatimuksia jännitteenalenneman tai suojauksen selektiivisyyden tarkastamisesta, mutta nämäkin kannattaa tarkastaa ja ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa.

Kun sähköverkon mitoitukseen kiinnitetään tarpeeksi huomiota suunnitteluvaiheessa, vältetään turhalta ylimitoitukselta tai pahimmassa tapauksessa valmiiden asennusten korjauksilta. Näin säästytään turhalta työltä ja voidaan säästää huomattavia summia kustannuksissa.

2.1 Suunnittelun lähtötiedot

Jotta suunnitteluvaiheessa voitaisiin selvittää suojausvaatimusten täyttyminen, tulee suunnitteluvaiheessa olla käytettävissä tarpeelliset lähtötiedot [2, s. 34]. Paikalliselta jakeluverkkoyhtiöltä tulee selvittää suojalaitteiden toimivuuden tarkastelua varten, sekä keskusten oikosulkukestoisuuden määrittämiseksi liittymiskohdan

- pienin ja suurin maasulkuvirta
- pienimmät ja suurimmat mahdolliset yksi- ja kolmivaiheiset oikosulkuvirrat.

Kohteesta tulee ennen verkon mitoituksen aloittamista selvittää keskusten sijainnit kaapeleiden pituuksia varten sekä keskusten tehotiedot kaapeleiden kuormitusvirtoja varten. Verkon laskentaa varten on hyvä olla alustava nousujohtokaavio tehtynä ja siihen merkittynä edellä mainitut asiat. Tämä nopeuttaa huomattavasti mallinnus- ja laskentaprosessia.

2.2 Kuormitettavuus ja ylikuormitussuojaus

Johtimen kuormitettavuuteen vaikuttavat useat eri tekijät, jotka tulee ottaa huomioon johtimen poikkipintaa valittaessa. Tämän takia johtimelle annettua maksimikuormitettavuutta voidaan harvoin soveltaa sähköverkkoa suunniteltaessa. Suurimman jatkuvan virran, jolla johdinta määrätyissä olosuhteissa kuormitetaan, on oltava sellainen, etteivät johtimen eristysaineen lämpötilan raja-arvot ylitä. Nämä raja-arvot esitetään SFS 6000 -standardin taulukossa 52.1. [1, s. 220.]

Poikkipintaa valittaessa tulee määrittää odotettavissa olevat kuormitusvirrat keskustasolla sekä mahdollisesti ryhmäjohtotasolla. Kun tiedetään, miten suurella virralla johdinta kuormitetaan, voidaan laskea korjauskertoimien avulla kaapelin poikkipinta-ala. Lopulliseen kuormitettavuuteen vaikuttaa ympäristön lämpötila, maan lämpöresistiivisyys, muiden virtapiirien läheisyys sekä asennustapa ja -olosuhteet. Korjauskertoimia esitetään standardin SFS 6000-5-52 liitteessä 52B.

Jos kokonaisvaltaista verkon mitoitusta ei olla tekemässä, yksittäisten kaapeleiden kuormitettavuuksia voidaan tarkastella yksinkertaistetuista kuormitettavuustaulukoista. Nämä taulukot löytyvät esimerkiksi D1-käsikirjasta. Verkoston laskentaan tarkoitetuista ohjelmista standardin mukaiset korjauskertoimet löytyvät sisäänrakennettuna ominaisuutena, jolloin suunnittelijan työ helpottuu kun ohjelma laskee valmiiksi kaapelin kuormitettavuudet annettujen tietojen perusteella.

Ylikuormitussuojauksen mitoituksessa tulee ottaa huomioon suojalaitteen nimellisvirran lisäksi erityyppisten suojalaitteiden erilaiset toiminta-arvot. Ylikuormitussuojaus voidaan toteuttaa johdonsuojakatkaisijoilla, katkaisijalla tai sulakkeilla. Sen poisjättämistä voidaan myös harkita turvallisuussyistä tai erikoistapauksissa, kuten IT-järjestelmissä joissa suojaus on toteutettu jollain muulla hyväksytyllä tavalla. Nämä poikkeustapaukset on lueteltu standardin SFS 6000-4-43 kohdassa 433.3. [2, s. 217, s. 132.]

Kaapelia ylikuormitukselta suojaavan suojalaitteen ominaisuuksien on kuitenkin täytettävä seuraavat kaksi ehtoa:

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (1)$$

$$I_z \leq 1,45 \times I_z, \quad (2)$$

jossa

I_B on piirin suunniteltu virta

I_z on johtimen jatkuva kuormitettavuus

I_n on suojalaitteen mitoitusvirta

I_z on virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritellyssä tavanomaisessa toiminta-ajassa. [1, s. 130.]

Mitoituksessa on otettava huomioon myös laajennusvara, minkä takia virtapiirien mitoistusta ei kannata tehdä liian lähelle jatkuvaa kuormitettavuutta.

2.3 Oikosulkusuojaus ja oikosulkuvirrat

Jotta oikosulkusuojauksen toimivuus voidaan varmistaa, täytyy selvittää suurimmat ja pienimmät oikosulkuvirrat keskuksissa ja tarvittaessa myös pienin oikosulkuvirta ryhmäjohtoon päässä. Liittymispisteen oikosulkuvirrat saadaan jakeluverkon haltijalta, minkä jälkeen verkon eri pisteiden oikosulkuvirrat voidaan määrittää laskemalla.

Oikosulkusuojukselle on kaksi keskeistä vaatimusta:

1. Oikosulkusuojan on pystyttävä katkaisemaan suurin piirissä esiintyvä oikosulkuvirta.
2. Poiskytkennän on tapahduttava, ennen kuin suojalaitteen suojaamat piirit vaurioituvat. [2, s. 138.]

Oikosulkusuojaus on tarkoitettu suojaamaan johtimia oikosulkuvirran aiheuttamilta lämpövaikutuksilta. Oikosulkusuojauksen tulee toimia minkä tahansa johtimien välisissä oikosuluissa missä tahansa kohtaa virtapiiriä.

Suojan on katkaistava oikosulkuvirrat viimeistään silloin, kun suojattavat johtimet saavuttavat eristemateriaalista riippuvan suurimman sallitun rajalämpötilan. Yleensä virtapiirit tulee mitoittaa maksimissaan 5 sekuntia kestävän oikosulun aiheuttamille lämpövaikutuksille. Suojauksen toimivuus voidaan tarkastaa laskemalla tai käyttämällä valmiiksi laskettuja taulukoita.

Jos käytetään yhdistettyä ylikuormitus- ja oikosulkusuojaa, tulee varmistaa, että suojalaitteen katkaisukyky on riittävä. Kun suojalaitteen katkaisukyky on vähintään yhtä suuri kuin esiintyvä prospektiivinen oikosulkuvirta, ja se täyttää ylikuormitussuojaukselle asetetut vaatimukset, sen katsotaan suojaavan virtapiirin myös oikosululta ja sen vaikutuksilta.

Oikosulkusuojauksen toteutumisen tarkastaminen suunnitteluvaiheessa on tärkeää, koska sitä ei tarvitse selvittää mittauksin käyttöönottotarkastuksissa. Standardin mukaan sähkösuunnitelmiin on myös liitettävä asialliset dokumentit oikosulkusuojauksen toteutumisesta.

2.4 Vikasuojaus

Vikasuojauksella tarkoitetaan suojausta, jonka avulla estetään ihmisiä tai kotieläimiä koskettamasta vian seurauksena jännitteiseksi tulleita osia niin, että siitä aiheutuisi vaaraa [2, s. 84]. Tätä vian aiheuttamaa, esimerkiksi sähkölaitteen rungossa esiintyvää, vaarallista jännitettä kutsutaan kosketusjännitteeksi.

Vikasuojaus voidaan toteuttaa

- estämällä vikavirran kulku ihmisen tai kotieläimen kautta tai
- rajoittamalla ihmisen tai kotieläimen kautta kulkeva vikavirta vaarattomaan arvoon tai
- rajoittamalla viasta johtuvan kehon kautta mahdollisesti kulkevan virran kesto aika vaarattoman lyhyeksi. [1, s. 30]

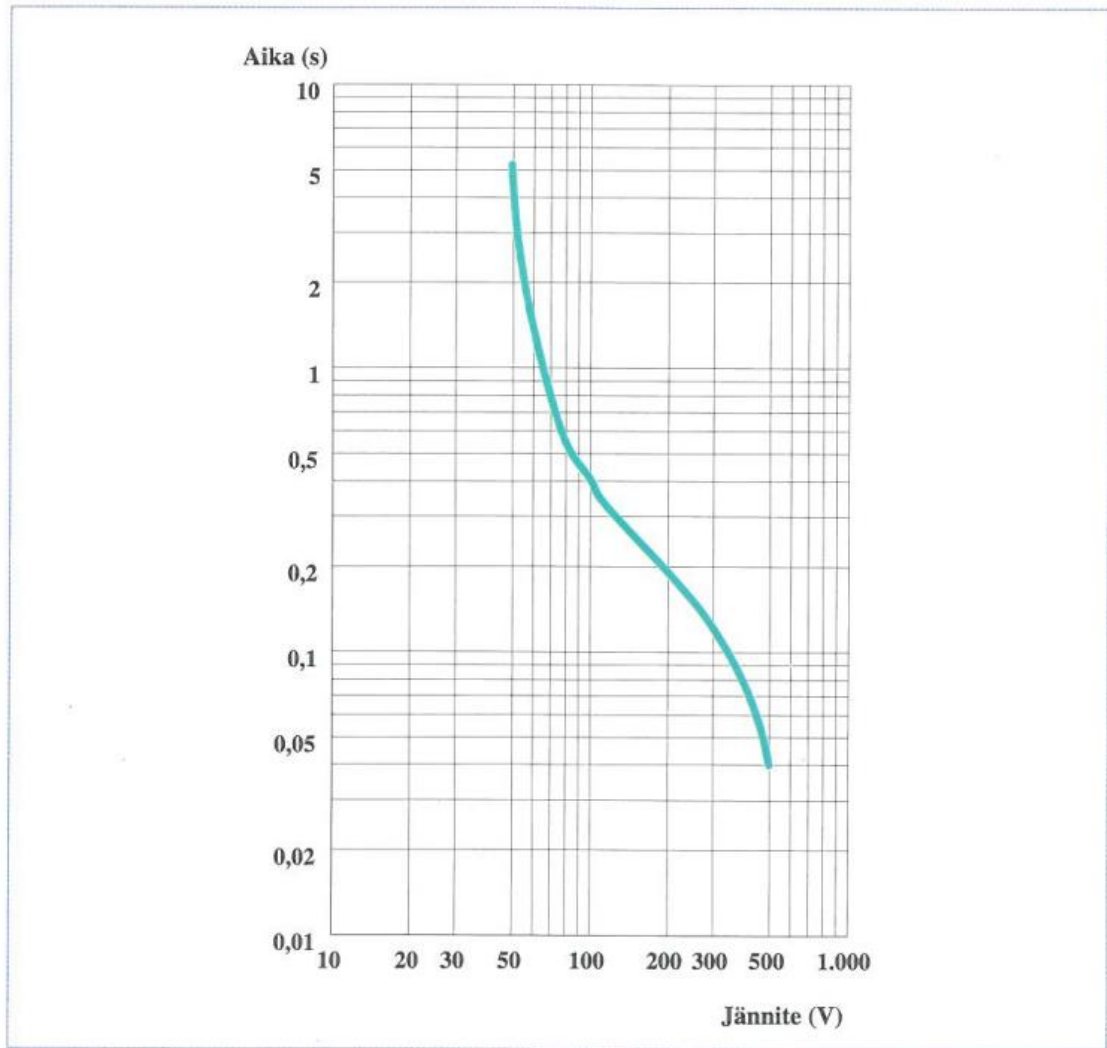
Yleisimmin suojaus toteutetaan käyttämällä syötön automaattista poiskytkentää. Se toteutetaan käytännössä johdonsuojakatkaisijoilla tai sulakkeilla. Mikäli oikosulkuvirrat eivät ole tarpeeksi suuria siihen, että ylivirtasuojat toimisivat riittävän nopeasti, voidaan lisäsuojausena käyttää vikavirtasuojakytkimiä.

Jos suojausedellytykset eivät ole tyydyttävät, kosketusjännitteen suuruutta voidaan rajata suojaavalla potentiaalintasauksella. Tämän tarkoituksena ei ole lyhentää suoja-laitteen toiminta-aikaa vaan pienentää syntyvä kosketusjännite turvalliselle tasolle.

Standardissa määritellään korkeintaan 32 A:n suojalaitteella suojatuille ryhmäjohdoille suurimmaksi sallituksi poiskytkentäajaksi 0,4 sekuntia. Sitä suuremmille ryhmäjohdoille ja pääjohdoille suurin sallittu poiskytkentäaika on 5,0 sekuntia.

Vikasuojauksen toteutuminen tulee tarkastaa käyttöönottovaiheessa mittaamalla, jolloin mitattujen arvojen tulee olla 25 % suurempia kuin suojalaitteiden toimintarajavirrat. Tämä johtuu siitä, että mittauslämpötila on alhaisempi kuin oikosulun aikainen lämpötila. Jotta tarkastusvaiheessa ei tulisi ikäviä yllätyksiä vikasuojauksen toimivuuden kannalta, on suositeltavaa jo suunnitteluvaiheessa selvittää poiskytkentäaikojen toteutuminen.

Kuvassa 1 (ks. seur. s.) esitetään kosketusjännitteen ja sen sallitun vaikutusajan riippuvuus. Siitä voidaan nähdä, että pääjohdoilla ja suurilla ryhmäjohdoilla poiskytkentäajan ollessa 5 sekuntia, on suurin sallittu kosketusjännite noin 50 V. Ryhmäjohtotasolla poiskytkentäajan ollessa 0,4 sekuntia, suurin sallittu kosketusjännite on noin 105 V.



Kuva 1. Kosketusjännitteen sallitut vaikutusajat.

2.5 Jännitteenalenema

Jännitteenalenema tulee selvittää vain, jos siitä on erikseen asiakkaan kanssa sovittu. Standardi SFS 6000 sisältää vain suosituksia jännitteenalenemasta, jolloin ne eivät ole velvoittavia ilman erillistä sopimusta.

Normaalista pienjänniteverkosta syötetylle sähköasennukselle tai laitteelle jännitteenalenema saisi olla enintään 5 %. Valaistukselle vastaava suositus on 3 %. Mikäli sähkölaitetta syötetään yksittäisestä teholähteestä, suositellut suurimmat jännitteenalenemat voivat olla tätä suurempia. Nämä suositukset löytyvät SFS 6000 -standardin opastavasta liitteestä 52G (taulukko 1, ks. seur. s.).

Taulukko 1. Jännitteenalenemasuosituksat [1, s.262].

Asennuksen tyyppi	Valaistus %	Muu käyttö %
A – Pienjänniteasennus, joka on syötetty suoraan yleisestä jakeluverkosta	3	5
B – Pienjänniteasennus, joka on syötetty yksityisestä teholähteestä ^a	6	8
^a Suositellaan, että niin pitkälle kuin mahdollista ryhmäjohtojen jännitteenalenema ei ylitä asennustyyppille A annettuja arvoja. Kun asennuksen pääjohdot ovat pitempiä kuin 100 m, näitä jännitteenalenemia voidaan kasvattaa 0,005 % johdon 100 m ylittävän pituuden metriä kohti. Ilman tätä lisäystä se ei saa olla suurempi kuin 0,5 %. Jännitteenalenema määritellään sähkölaitteen tehontarpeen mukaan käyttäen soveltuvin osin tasoituskertoimia, tai käyttäen piirien suunniteltuja virtoja.		

Joissain poikkeustapauksissa voidaan hyväksyä suosituksia suurempi jännitteenalenema. Näitä tapauksia ovat moottorit käynnistyksen aikana tai laitteet, joilla on suuri käynnistysvirta. Tilanteet ovat usein lyhytkestoisia, jolloin jännitteen vaihtelun vaikutus muuhun verkkoon on vähäinen.

Jännitteenaleneman pienentämiseksi on olemassa erilaisia keinoja. Nousu- ja ryhmäjohtojen poikkipinta-alaa voidaan kasvattaa alijänniteääritilanteiden perusteella tai moottoreiden käynnistysvirtaa voidaan pienentää lisäämällä moottorille taajuusmuuttaja, pehmokäynnistin tai tähti-kolmio-käynnistin. Joissain tapauksissa suuritehoiset tai alijännitteille herkat laitteet voidaan myös sijoittaa omiin sähkökeskuksiinsa. [3.]

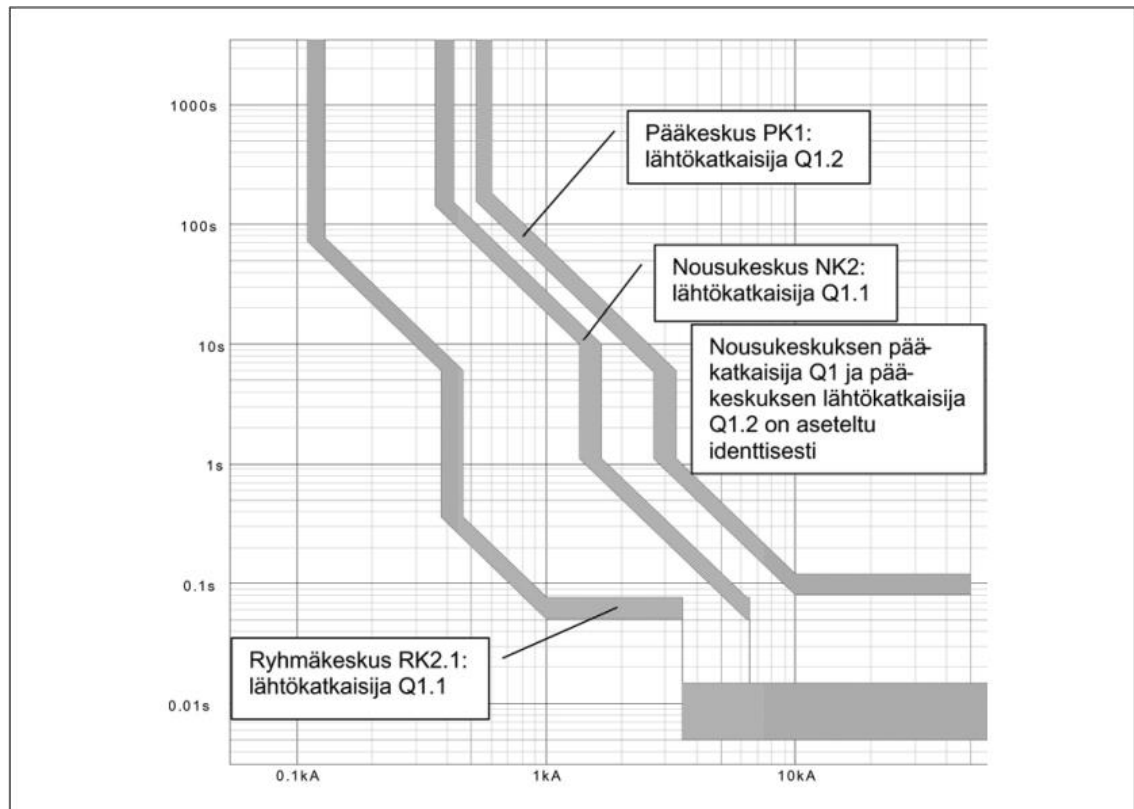
2.6 Selektiivisyys

Sähköverkon suojauksen selektiivisyydellä tarkoitetaan sitä, että ainoastaan lähinnä vikapaikkaa oleva syötönpuoleinen suoja toimii sen varsinaisella suojausalueella sattuvissa ylikuormitus- ja oikosulkutilanteissa. Näin ollen sähköverkosta erotetaan jännitteettömäksi mahdollisimman pieni osa. Aina täydellisen selektiivisyyden toteuttaminen ei ole tarpeen, koska se voi johtaa kohtuuttomaan ylimitoitukseen.

Suojalaitteiden selektiivisyyttä voidaan tarkastella toiminta-aikakäyrien ja valmiiden taulukoiden avulla. Selektiivisyys saavutetaan, jos jälkimmäisen suojalaitteen ominaiskäyrä on edellisen suojalaitteen ominaiskäyrän alapuolella, eivätkä ominaiskäyrät leikkaa toisiaan millään odotettavissa olevan ylivirran arvolla [2, s. 265]. Suojalaitteiden ominaiskäyrien vertailussa tulee käyttää jälkimmäisen suojalaitteen ylintä toimintakäyrää ja edellisen suojalaitteen alinta toimintakäyrää.

Sulakkeita käytettäessä päästään yleensä varsin hyvään selektiivisyyteen, kunhan sulakekoot on valittu toisiinsa nähden oikein eikä käytetä liian suuria sulakekokoja. Nyrkisääntönä selektiivisyyden kannalta on se, että peräkkäisten sulakkeiden välissä pitää olla vähintään yksi sulakekoko. Peräkkäisten sulakkeiden nimellisvirtojen suhteen pitää siis olla vähintään 1,6:1. [4.]

Kuvassa 2 nähdään esimerkkutilanne sähköverkon selektiivisyydestä. Hyvin suunnitellussa sähköverkossa suojalaitteiden ominaiskäyrät eivät leikkaa toisiaan missään vaiheessa. Näin vältetään epäselektiivisyydeltä, joka voi pahimmillaan johtaa joko koko verkon jännitekatkokseen, kun pääkatkaisija laukeaa tai henkilö- ja omaisuusvahinkoihin jos suoja ei toimi vikatilanteessa lainkaan.



Kuva 2. Esimerkki selektiivisyydestä, ylivirtasuojien toimintakäyrät [4].

Suojalaitteiden valmistajat ilmoittavat usein tarvittavan porrastuksen suojalaitteiden välillä, mutta nämä selektiivisyystaulukot kattavat vain kyseisen valmistajan tuotteet. Selektiivisyystarkastelu onnistuu myös usealla sähköasennusten mitoitusohjelmalla. Niissä toimintakäyrät on valmiiksi syötettyinä, mutta joissakin ohjelmissa on suojalaitteet rajattu vain tietyn valmistajan tuotteisiin.

2.7 Dokumentointi

Sähkösuunnitelmiin on liitettävä standardinmukaiset dokumentit kaikista edellä mainituista ja standardin mukaan vaadittavista laskelmista ja selvityksistä. Sähköasennusten dokumentointiin liittyviä standardeja ovat SFS-EN 61082 ja SFS-EN 81346. Nämä sisältävät vaatimukset siitä, kuinka dokumenteissa käytettävät kaaviot, piirustukset tai taulukot tulee laatia.

Standardin SFS-6000 mukaan sähköasennusten dokumenteista tulee ilmetä erityisesti seuraavat tiedot:

- virtapiirien laji ja rakenne
- kulutuspisteiden sijainti
- johtimien lukumäärä, koko, johtolaji ja -tyyppi
- tiedot, joiden avulla suoja-, kytkin- ja erotuslaitteiden ominaisuudet ja niiden sijainti voidaan tunnistaa.

Lisäksi dokumenttien tulee sisältää suojauksen toimivuuden tarkistamista varten yksityiskohtaiset tiedot asennuksen jokaisesta piiristä siltä osin, kuin ne ovat tarpeen kussakin asennuksessa:

- johtimien tyypit ja poikkipinnat
- virtapiirien pituudet, joita tarvitaan suojausta tai jännitteenalennemaa koskevien laskelmien tekemiseen
- suojalaitteiden mitoitusvirrat tai asettelut
- prospektiiviset oikosulkuvirrat ja suojalaitteiden katkaisukyvyt. [1, s.193]

Edellä mainitut tiedot tulee selvittää jo suunnitteluvaiheessa, ja niihin tulee sisältyä myös laskelmat, joista käy ilmi, että suojausvaatimukset toteutuvat. Jos asennuksiin tehdään muutoksia, on jokaisen muutoksen jälkeen tiedot päivitettävä myös dokumentteihin.

Yksinkertaisista asennuksista ei ole välttämätöntä tehdä laajamittaista dokumentointia, vaan silloin riittää, että standardin SFS 6000 edellyttämät tiedot ovat saatavilla luettelomuodossa. Kaikissa tapauksissa asennuksista tulee kuitenkin löytyä dokumentteja vastaavat merkinnät, joiden perusteella virtapiirit voidaan tunnistaa.

Monet laskentaohjelmat tuottavat yleensä tarvittavan standardien mukaisen dokumentaation. Se edellyttää, että ohjelmaan on yksityiskohtaisesti syötetty tarvittava informaatio kyseisestä asennuksesta. Ohjelman käyttäminen helpottaa huomattavasti mitoitusta ja dokumenttien tuottamista. Dokumentit on helppo tulostaa yhdellä painalluksella, joten myös asennukseen tehtävät muutokset on helppo viedä suunnitteludokumenttien liitteeksi.

3 Mallinnettava suunnittelukohde

Insinööriyössä mallinnettavana suunnittelukohteena toimii Kvarteret Victoria/Osaprojekti 1. Se on Helsingin keskustan luoteisosaan Jätkäsaareen rakennettava Victoria-kortteli, jonka tarkoituksena on tarjota sen asukkaille kokoontumispaikka, jossa tarjotaan sekä kulttuuria että palveluja. Tämä kaikille avoin kulttuuri- ja palvelukeskus lisää koko uuden alueen elinvoimaisuutta ja kaikkien sen asukkaiden virikkeitä ja palveluja.

Koko hankkeen ydin on kortteliin sijoittuva Kulttuuri- ja taidekasvatuskeskus, joka sisältää muun muassa sekä teatteri- että muuta esiintymistaidetta palvelevan Victoria-salin, gallerian ja teatterin. Toimintakeskuksen välittömään läheisyyteen sijoitetaan kahvila- ja ravintolatila, joka palvelee sekä alueen lounasvieraita, mutta toimii myös illallisravintolana [4]. Keskuksen yhteyteen sijoitetaan myös ateljeeasuntoja, toimitiloja sekä päiväkotia.

Pääosa korttelin kerrosalasta on kuitenkin asumista. Kortteliin sijoittuu ns. vapaarahoitteisia ja Hitas-ehdoin toteutettavaa omistusasumista sekä opiskelija- että erityisasumista. Kaikki yhteiset kerhotilat keskitetään toimintakeskukseen. Tämä takaa asukkaille tavanomaista laadukkaammat ja laajemmat yhteistilat. Rakennuksissa on myös paljon erilaisia toimisto- ja työtiloja sekä liikehuoneistoja sisältäen muun muassa päivittäisvarakaupan.

Kuvassa 3 esitetään havainnollistava kuva rakentuvasta kokonaisuudesta. Kolmiulotteisesta mallista saa helpommin käsityksen, millaisesta rakennuksesta on kyse.



Kuva 3. IFC-tietomalli. Havainnekuva kokonaisuudesta.

4 Vertailtavat ohjelmat

Sähköasennusten mallintamiseen ja mitoitukseen on olemassa useita eri ohjelmia. Monella suojalaitevalmistajalla on tarjota myös oma versionsa laskentaohjelmista. Niiden avulla sähköverkot voidaan tosin mitoittaa vain käyttämällä tämän kyseisen valmistajan tuotteita, joten niiden käyttö on joissain tapauksissa rajoittunutta.

Ainakin Siemensillä (SIMARIS Desing), Schneiderillä (Ecodial) ja ABB:llä (DOC) on omat ohjelmistonsa. Kaupallisessa FebDokissa on käytettävissä kaikkien valmistajien sekä IEC-standardin mukaiset suojalaitteet.

Sähkösuunnitteluun tarkoitetuissa ohjelmissa, Kymdatan CADS Plannerissa sekä Progmanin MagiCADissa, on molemmissa sisäänrakennettuna laskentaohjelmisto. Näissä suunnitteluohjelmiin sisällytetyissä laskentaominaisuuksissa on ristiriitaisia asioita. Toisaalta on hyvä, että laskelmat pystytään tekemään suoraan suunnitellusta kuvasta ja ei tarvita erillisiä ohjelmistoja, mutta se vaatii äärimmäisen tarkkaa ja yksityiskohtaista suunnittelua. Tämä lisää suunnitteluun käytettyä aikaa vain, jotta saataisiin

muodostettua dokumentointi sähköverkon mitoituksista. Sisäänrakennettujen laskentojen heikkous on myös se, että lähes koko suunnitelman tulee olla valmis, ennen kuin verkkoa voidaan mitoittaa tai tarkastaa.

Kaikilla näillä laskentatavoilla on kuitenkin samat ongelmat: Miten tarkasti ennen asennusta tiedetään johdon pituus ja kuormitus? Mitkä ovat asennusolosuhteet ja tasoituskerroimet lopullisessa asennuksessa? Nämä kaikki arvot tulee kuitenkin määrittää laskentaohjelmaan mahdollisimman tarkasti, jotta saadaan luotettavia tuloksia.

Työssä tarkastellaan kahta eri laskentaohjelmistoa sekä yrityksen omaa Excel-taulukkolaskentaohjelmaa. Näistä parhaiten soveltuvalla mallinnetaan esimerkkiprojektin sähköverkko ja kehitetään samalla toimintatapoja sähköverkon mitoituksen dokumentoinnin kannalta.

Kaupallisista ohjelmista alustavien tutkimusten perusteella valittiin tarkempaan tarkasteluun ABB DOC sekä FebDok. Ohjelmien käytettävyydestä ja ominaisuuksista, ks. luvut 4.1 ja 4.2

4.1 ABB DOC -mitoitusohjelma

ABB DOC 2.0 on ABB:n kehittämä sähköverkkojen suunnitteluun tarkoitettu laskentaohjelma. Se on tarkoitettu pien- ja keskijänniteverkkojen mitoitukseen. Sillä pystytään laskemaan ja määrittelemään sähköverkon kaikki tarvittavat ominaisuudet, kuten oikosulkuvirrat, jännitteenalenemat, kaapelikoot sekä suojalaitteet standardien mukaisesti. ABB DOC:n heikkous on sen suojalaittevalikoiman rajoittuminen vain ABB:n omiin tuotteisiin.

DOC osaa automaattisesti mitoittaa ja valita sähköjärjestelmän komponentit. Se valitsee annettujen jakeluverkon alkuarvojen ja lisättyjen kuormien mukaan parhaat mahdolliset kaapelit ja suojalaitteet mallinnettuun järjestelmään. Jotta ohjelma osaa mitoittaa komponentit oikein, siihen on määritettävä syöttävän verkon tiedot sekä muut ominaisuudet mahdollisimman tarkasti (Kuva 4, ks. seur. s.). Kaikki komponentit pystytään valitsemaan myös manuaalisesti tai lukita ennen ohjelman automaattista mitoitusta. Tämä on kätevää esimerkiksi päivitettäessä sähköverkkoa, johon jää vanhoja asennuksia, mutta asennetaan myös uutta.

Laitoksen yleiset ominaisuudet

Piiri

☒ PJ-jakelu

I'k 15 [kA]

Sk 10.39 [MVA]

☐ Muuntaja KJ-PJ

1 Trafo

Sr 400 [kVA]

Ukr 4 [%]

☒ PJ-järjestelmät, joiden toler.

☐ PJ-järjestelmät, joiden toler.

☐ Kj-jakelu

Ur 15000 [V]

I'k 12.5 [kA]

3lo 50 [A]

sammutettu verkko

☐ Generaattori

Ur 400 [V]

Symboli <oletus>

PJ-taso

400 [V] LLLN TN-S 50 [Hz]

Verkon vaatimukset

P [kW] I [A]

Q [kvar] cosφ

Valitse LLLN-piireille katkaisijat, joissa on 4P

Valitse LN-piireille katkaisijat, joissa on 1P+N

Johdonsuojakatkaisijat teolliseen käyttöön (IEC 60947-2)

☒ Automaattinen nollajohtimen optimointi

Laskelmissa käytettävä standardi: IEC 60909-1

Kaapelin mitoitusstandardi: IEC 60364

Lämpötila

Ympäristö 30 [°C]

Kojeistojen sisällä (projektissa) 40 [°C]

Henkilö suojaus

Laukaisuaika enintään 0.4 [s]

☐ Valitse automaattisesti

Johdonsuojakatkaisija, jos Ib enintään 63 [A]

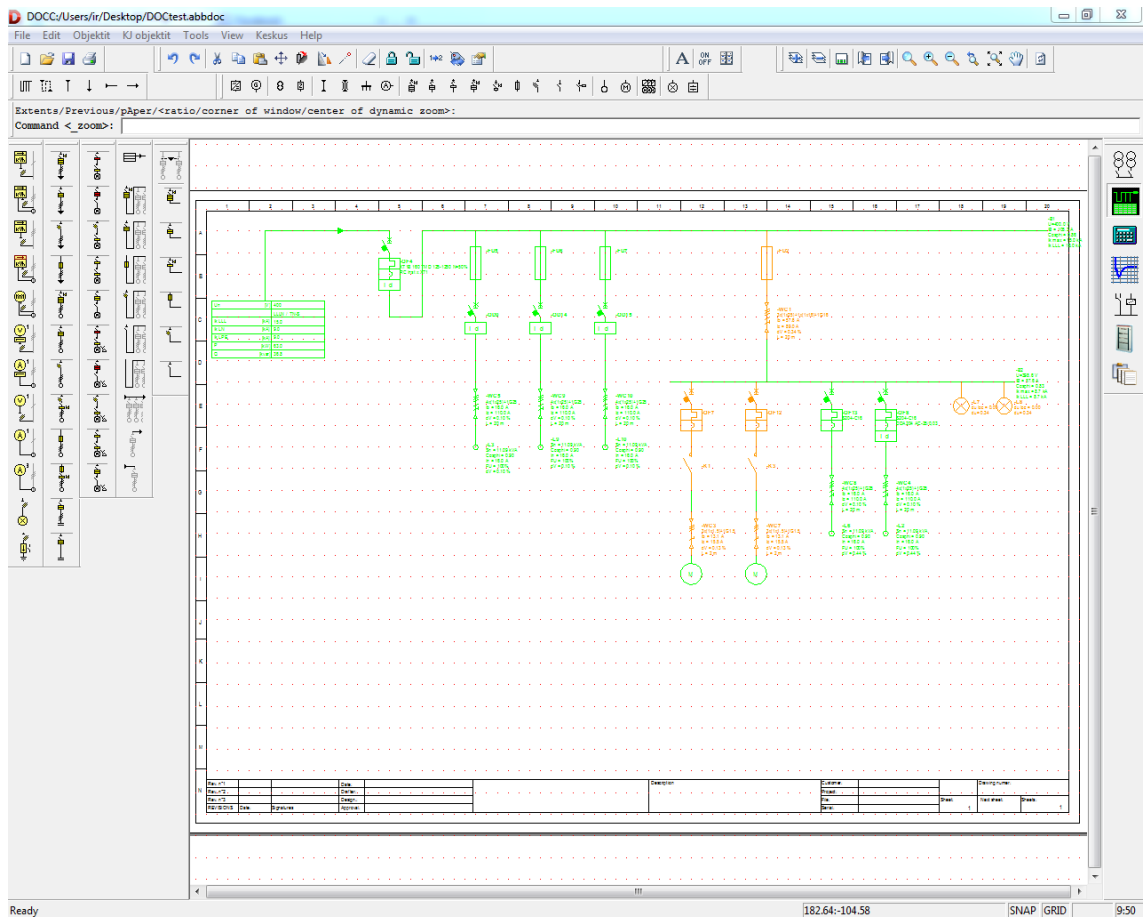
Kompaktikatkaisija, jos Ib enintään 800 [A]

Sulje asetukset <<< Lyout Optiot...

OK Peruuta

Kuva 4. ABB DOC syöttävän verkon ominaisuudet.

Sovelluksessa voi tarkastella koko sähköverkkoa selkeästi yhden yksiviivakaavion avulla, ja se sisältää runsaasti valmiiksi määriteltäviä makroja sähkönsyöttöyksiköistä, jotka helpottavat verkon ominaisuuksien määrittämistä. Kuvassa 5 (ks. seur. s.) esitetään ohjelman näkymä, josta nähdään, miten selkeästi verkon ominaisuuksia voidaan tarkastella yhdellä ruudulla. Kun ohjelmalla on suoritettu verkon laskelma, se ilmoittaa värikoodein komponenttien soveltuvuuden ja mahdolliset virheet tai puutteet verkossa. Tämä helpottaa suunnittelijan työtä, koska virheelliset kohdat nähdään nopeasti, ja ne voidaan korjata heti mitoitus tehdessä.



Kuva 5. ABB DOC-ohjelman näkymä.

ABB DOC:lla saadaan tulostettua tarvittavat luettelot ja laskelmat sähköverkon mitoituksista. Ohjelma on myös CAD-yhteensopiva, ja sillä voidaan piirtää esimerkiksi pääkaavioita ja hyödyntää niitä suunnitelmakuviissa.

Ohjelma soveltuu hyvin sähköverkkojen mitoitukseen ja standardinmukaisen dokumentoinnin tuottamiseen, mutta sen suojalaitevalikoiman rajoittuminen vain ABB:n tuotteisiin, ja jokseenkin vaikeasti saatavilla oleva tuotetuki ja ohjeistus vaikuttivat siihen, että ABB DOC -laskentaohjelmaa ei valittu yrityksen käyttöön.

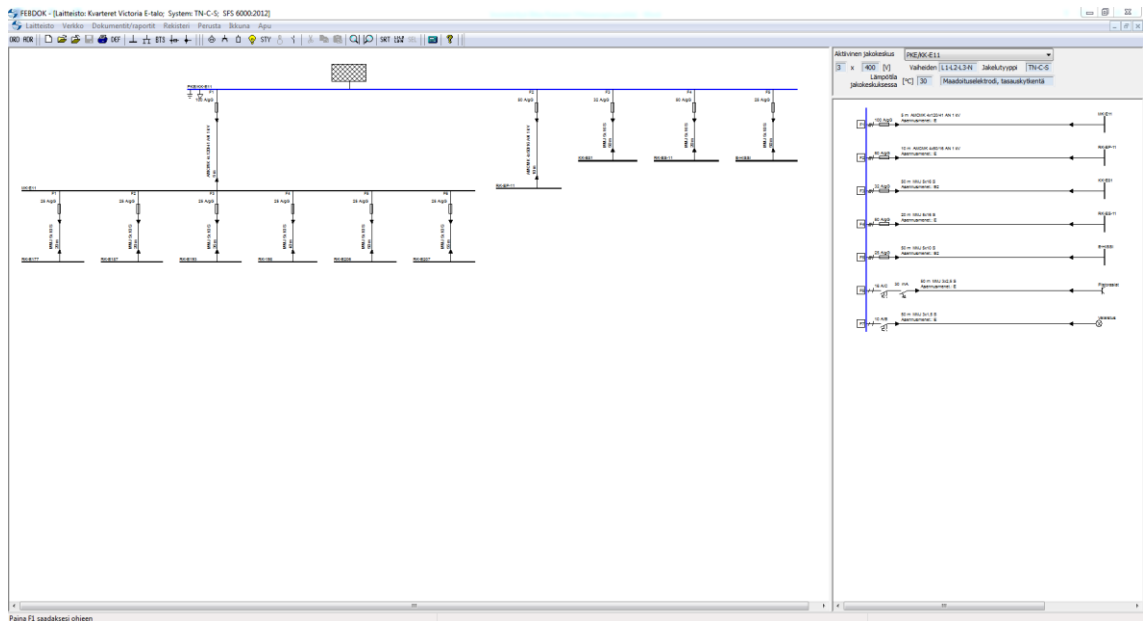
4.2 Febdok-mitoitusohjelma

Febdokin on alun perin kehittänyt Norjan sähköurakoitsijaliitto NELFO, ja se on julkaistu jo vuonna 1991. Sittemmin ohjelmisto on vakiinnuttanut markkina-asemansa pohjoismaissa ja Iso-Britanniassa. Ohjelman suomenkielinen versio on kehitetty yhteistyössä Sähköinfo Oy:n kanssa, ja tämän myötä ohjelmaan on saatu kaikki Suomessa käytettävät suojalaitteet ja kaapelit.

Ohjelma on tarkoitettu pienjännitesähköasennusten standardinmukaiseen mitoitukseen ja dokumentointiin standardin SFS 6000 mukaan. Ohjelmaa voivat hyödyntää sähkösuunnittelijat, verkonhaltijat, sähköurakoitsijat sekä sähköalan oppilaitokset. Sillä voidaan mitoittaa ja dokumentoida monenlaisia kohteita yksinkertaisista asuin- ja toimistorakennuksista aina vaativimpiin sairaala- ja teollisuusrakennuksiin.

Febdokissa on lukuisia ominaisuuksia, joiden avulla voidaan laskea kaikki sähköverkon suojaukseen vaadittavat asiat, kuten oikosulku- ja vikavirrat, jännitteenalenemat, selektiivisyydet ja suojalaitteiden toiminta-ajat. Ohjelmalla voidaan mitoittaa myös kaapelit ja niille sopivat suojalaitteet. Kaikki tiedot saadaan dokumentoitua helposti tulostamalla halutut raportit, kaaviot ja luettelot.

Ohjelma on erittäin helppokäyttöinen ja havainnollinen, joten verkon muodostaminen ja muokkaaminen on nopeaa. Kaikki verkkoon tehtävät muutokset ohjelma laskee reaaliajassa, ja ilmoittaa heti mahdollisista virheistä. Kuvassa 6 (ks. seur. s.) esitetään Febdokin päänäköymä, josta nähdään yhdellä ruudulla koko verkko sekä aktiivisen jakokeskuksen piirit.



Kuva 6. Febdokin päänäköymä.

Febdokia päivitetään jatkuvasti, ja siihen kehitetään uusia ominaisuuksia. Ainakin CAD-yhteensopivuus olisi tervetullut lisä ohjelmaan. Käyttöliittymää, käännösvirheitä sekä mahdollisia virheellisiä tietoja päivitetään jatkuvasti käyttäjien palautteen perusteella. Myös kehitysehdotuksia voi jättää ohjelmiston ylläpitäjälle. Sähköinfo järjestää koulutuksia Febdokin ominaisuuksista, jotta käyttöönotto olisi helpompaa ja nopeampaa. Ilman kurssiakin ohjelman käyttöönotto onnistuu, kunhan tutustuu huolella käyttöohjeisiin.

Febdok on kokonaisuudessaan erinomainen ohjelma sähköverkon mitoittamiseen ja dokumentointiin, vaikka sillä ei ainakaan vielä pystytä mitoittamaan keskijänniteverkkoja. Sen ehdottomasti suurin etu kilpailijoihin nähden on erittäin laaja tietopankki, jossa on käytännössä kaikki Suomessa käytettävät suojalaitteet ja kaapelit.

Febdok valittiin sen ominaisuuksien perusteella esimerkkituotteen sähköverkon mitoittamiseen. Sen käytettävyys, tuotetuki ja tuotekirjaston monipuolisuus olivat pääosassa valintaa tehdessä, koska työn tarkoituksena on saada yrityksen käyttöön pitkäaikainen ja kaikkien käytettävissä oleva työkalu sähköverkkojen mitoittamiseen. Esimerkkikohteen perusteella tehdään valinta, otetaanko ohjelma käyttöön vai ei.

4.3 Excel-taulukkolaskentaohjelma

Yrityksen käytössä on ollut Excel-pohjainen oikosulkulaskentataulukko, jota on kehitetty ja paranneltu aina tarpeen tullen. Sitä ylläpitävät suunnittelijat ja sen laskentakaavat perustuvat SFS 6000 -standardiin. Ohjelmalla pystytään laskemaan ja tarkastamaan riittävätkö oikosulkuvirrat määrätyillä keskuksilla ja kulutuspisteissä ryhmäjohtojen päässä. Lisäksi taulukko tarkastaa automaattisesti, että kosketusjännite ei ylitä sallittua arvoa.

Ohjelmaan luotujen taulukoiden ansiosta erilaiset keskusyhdistelmät on nopea laskea kun lähtötiedot ovat riittävät. Kuten kaikissa laskentaohjelmissa, jakeluverkon haltijalta täytyy saada lähtöpisteen oikosulkuvirta ja syöttää se sille määrättyyn soluun taulukossa. Kaikki täytettävät kentät on merkitty taustavärillä, joten tietojen lisääminen taulukoon käy erittäin nopeasti. Kun tarvittavat tiedot on syötetty, ohjelma laskee automaattisesti oikosulkuvirrat ja vertaa niitä valittujen suojalaitteiden vaatimiin arvoihin. Kun laskenta on tehty, ohjelma ilmoittaa yksinkertaisella tekstillä, onko oikosulkuvirta riittävä vai ei.

Kun käyttäjä valitsee käytettävän kaapelin, ohjelma hakee automaattisesti viereisestä taulukosta sille oikeat resistanssiarvot. Myös suojalaitteelle ilmoitetaan tarvittava oikosulkuvirta valitun nimellisvirran ja laukaisuajan perusteella. Nämä arvot ovat yleisesti käytettyjä vakioarvoja.

Taulukosta on rakennettu erittäin selkeä, ja sen käyttö ei vaadi erityistä opettelua. Kaikki taulukon käyttöön liittyvä tieto on kasattu käytettävälle välilehdelle, joten erillisiä lähteitä ei välttämättä tarvitse etsiä. Kuvassa 7 (ks. seur. s.) esitetään taulukon rakenne yhden keskusvälin mitoitukseen:

Oikosuikulaskenta (Yhteensopiva tila) - Excel										PDF-XChange 4									
TIEDOSTO ALOITUS LISÄÄ SVUN ASETELU KAAVAT TIEDOT TARKISTA NÄYTÄ PDF-XChange 4																			
C13										120									
INSINÖÖRITOIMISTO NURMI OY										Oikosuikulaskenta									
Läsnäntöte 5 F, 00410 Helsinki Puh. (09) 530 8010 Fax. (09) 583 4783 E-mail etunimi.sukunimi@oistonurmi.fi										numero									
PBR_NRO										Resist. 1 (L1,2,3)									
PROJEKTI NRO 14001										Resist. 2 (PE)									
PVM MUUTOS PVM										Suojakoodi									
Jäikeverkon haltijan ilmoittama oikosuuvirta $I_k (A) = 14200$										Täytettävät kentät									
Z _e = 0,01545																			
PÄÄJOHDON / JOHTOJEN VALINTA :																			
Keskusväli: LP-PK																			
Kaapelin pituus $l_c (m)$ 120										Johdon välika:Johdonosajia (A) : 400									
Kaapeliteypin nro: 60										Tähtien l_k : 2840 ik OK									
2x AXMK 4X185S																			
$R_0 = 0,1 \Omega$																			
$R_1 = 0,1 \Omega$																			
$R_{\text{kaapeli}} = 0,0395 \Omega$																			
$I_{\text{kaapeli}} = 6648 A$																			
PÄÄJOHDON / JOHTOJEN VALINTA :																			
Keskusväli: PK-RK-4.2																			
Kaapelin pituus $l_c (m)$ 40										Laukaisusika 5									
Kaapeliteypin nro: 11										Johdon välika:Johdonosajia (A) : 63									
AMCMK 4x35A+16Cu S										==== 0,4 tai 5 s									
$R_0 = 1,079 \Omega$																			
$R_1 = 1,079 \Omega$																			
$R_{\text{kaapeli}} = 0,1020 \Omega$																			
$I_{\text{kaapeli}} = 1394 A$																			
Tähtien l_k : 320 ik OK																			
										Poiskyntäntä aika = 5 s									
										Poiskyntäntä jännite = 50 V ok									
RYHMÄJOHTOJEN TARKISTUS																			
PISTORASIA										VALAISTUS									
Kaapelin pituus $l_c (m)$ 65										Kaapelin pituus $l_c (m)$ 80									
Kaapeliteypin nro: 53										Kaapeliteypin nro: 53									
MMJ 3x2,5 S										MMJ 3x2,5 S									
$R_0 = 9,157 \Omega$										$R_0 = 9,157 \Omega$									
$R_1 = 9,157 \Omega$										$R_1 = 9,157 \Omega$									
$R_{\text{kaapeli}} = 1,3162 \Omega$										$R_{\text{kaapeli}} = 1,5909 \Omega$									
$I_{\text{kaapeli}} = 167 A$										$I_{\text{kaapeli}} = 138 A$									
Johdon välika:Johdonosajia (A) : c18										Johdon välika:Johdonosajia (A) : b18									
Laukaisusika 0,4										Laukaisusika 0,4									
Tähtien l_k : 160 ik OK										Tähtien l_k : 80 ik OK									
==== 0,4 tai 5 s										==== 0,4 tai 5 s									
PK1-Laskenta										PK-RK									
PK2-Laskenta										PK-NK-RK									
PK3-Laskenta										Vanha laskenta									
VALMIS										100 %									

Kuva 7. Excel-taulukkolaskentaohjelma.

Taulukosta puuttuu kuitenkin paljon hyödyllisiä ominaisuuksia, jotka löytyvät integroitu-na suoraan kaupallisista ohjelmista. Taulukkoon jouduttaisiin tekemään suuria muutok-sia, jotta siitä saataisiin lisää hyödyllisiä tietoja ulos. Nykyisellään se ei huomioi ollen-kaan jännitteenalenemien, selektiivisyyttä tai kaapeleiden kuormitettavuutta. Nämä asiat täytyy kuitenkin yleensä tarkastaa tavalla tai toisella sähköverkon toimivaa suojausta mitoitettaessa.

Kun ohjelmaa tutkittiin perusteellisemmin, siitä paljastui jopa pieniä laskukaavavirheitä, jotka olivat jääneet muutamille välilehdille. Joissakin kohdissa virheet oli korjattu, mutta koska taulukon ylläpito on täysin käyttäjien vastuulla, kaikkia virheitä ei ole saatu karsit-tu pois. Myös osa kaapelitiedoista oli vanhentuneita, ja kaikkia nykyään käytettäviä kaapeleita ei löytynyt listasta. Tämä aiheutti sen, että aina eri kaapelityyppejä käytettä-essä jouduttiin sen tiedot kuitenkin etsimään valmistajien sivuilta, jotta voitiin olla var-moja tietojen paikkansapitävyydestä.

Ohjelma sinänsä olisi vielä ihan käyttökelpoinen, jos siihen tehtäisiin perusteellinen päivitys ja jonkinlainen ylläpitosuunnitelma. Kuitenkin tulevaisuutta silmälläpitäen päädyttiin siihen, että ohjelmaa ei ryhdytä päivittämään. Kehittyneet kaupalliset laskentaohjelmat automaattisilla päivityksillä on huomattavasti luotettavampi ja pitkäikäisempi ratkaisu sähköverkkojen mitoitukseen. Vaikka ohjelmaan päivitettäisiin nyt kaikki uusimmat tiedot, kukaan ei voi taata tietojen paikkansapitävyyttä esimerkiksi kahden vuoden kuluttua.

5 Kohteen sähköverkon mallintaminen

5.1 Kohteen lähtötiedot

Ennen kuin sähköverkon mallintamista aloitetaan, kohteesta täytyy selvittää useita mallintamiseen tarvittavia tietoja. Ihan ensimmäiseksi tietysti kannattaa tutustua kohteeseen, jos se ei ole aiemmin tuttu. Tällöin pystyy hahmottamaan kokonaisuuden paremmin.

Jakeluverkkoyhtiöltä tulee selvittää yksi- ja kolmivaiheiset oikosulkuvirrat liittymispisteessä tai pääkeskuksella riippuen siitä, mistä laskenta aloitetaan. Tässä kohteessa tarvittavia oikosulkuvirtoja ei saatu ajoissa Helsingin Energialta, vaan oikosulkuvirta-arvot laskettiin tiedossa olleen muuntajan mukaan.

Nousujohtokaavion olisi myös hyvä olla jo valmis, jotta pystytään arvioimaan kaapeleiden pituudet ja keskusten lukumäärä. Keskuksista tarvitaan alustava teholaskelma, jotta kaapelit ja suojalaitteet voidaan mitoittaa oikein. Tästä kohteesta oli saatavilla tarvittavat kaaviot ja teholaskelmat, joiden perusteella oli helppo aloittaa sähköverkon mallintaminen.

Aina ei ole järkevää mallintaa koko sähköverkkoa, jos se sisältää paljon samanlaisia keskuksia ja kuormia. Tällöin verkosta etsitään pahimmat pisteet ja lasketaan suojauksen toimivuus näissä kohdissa. Näitä pahimpia pisteitä ovat yleensä pisimmät etäisyydet, suurimmat kuormat ja mahdollisesti lähimpänä liittymispistettä olevat kuormat, jos oikosulkuvirrat ovat suuria liittymispisteessä.

Tässäkin tapauksessa valittiin aluksi tarkasteluun vain kauimpana olevat, ja suurimmat asuntokeskukset sekä kaikki kiinteistökeskukset. Jokaisen keskuksen pisimmät pistorasiasia- ja valaistuslähdet otettiin myös mukaan laskentaan.

5.2 Ohjelman perusasetukset

Aivan ensimmäiseksi ohjelman perusasetukset kannattaa määritellä kohdalleen. Asetukset ovat tämän jälkeen käytössä kaikissa perustetuissa projekteissa, joten niitä ei tarvitse määritellä jokaiseen erikseen. Tämä vähentää yksittäisten laskelmien työmäärää, kun lähtökohdat ovat kunnossa.

Järjestelmän asetuksissa voidaan määritellä laitteistoille verkon aloituspiste, jakelutyyppi, järjestelmän jännite, verkkotaajuus ja piirien oletusetuliite. Aloituspisteeksi valittiin syöttöpiste ja jakelutyyppi TN-C-S, koska suurin osa kohteista liittyy olemassa olevaan verkkoon. Tällöin laskenta alkaa liittymispisteestä nousukaapeleilla, jolloin osassa järjestelmää on yhdistetty nolla- ja suojamaadoitusjohdin. Piirien etuliitteeksi vaihdettiin F, koska se on yleisesti käytetty piiritunnus keskuskaavioissa.

Laitteistolle voidaan myös määrittää varoitustasot jännitteenalenemille, sekä oletusarvot oikosulkuvirroille. Oikosulkuvirta-arvoihin ei tehty muutoksia, koska ne vaihtelee kohteen sijainnista riippuen, ja määritetään jokaisessa kohteessa kuitenkin erikseen. Jännitteenaleneman varoitustaso kokonaisuudessaan oli määritetty 4 %:iin, mutta se vaihdettiin 5 %:iin, koska se on standardin suositus ja näin vältetään turhilta huomautuksilta laitteistoa mitoitettaessa. Kuvasta 8 (ks. seur. s.) voidaan nähdä valitut asetukset.

Kuva 8. Järjestelmän asetukset.

Asetuksiin lisättiin myös projektidokumentaatioissa näkyvä yrityksen logo sekä usein käytettävät kaapelityypit ja suojalaitteet. Kaapelityyppeihin valittiin vain useimmin käytetyt kaapelit, koska se nopeuttaa verkon mallintamista, kun oikeaa kaapelia ei tarvitse hakea kymmenien kaapelityyppien joukosta. Kaikki kaapelityypit saadaan kuitenkin näkymään mitoitusta tehdessä, kun erikoisempia kaapeleita tarvitaan. Suojalaitteiksi valittiin kaikki valmistajat, koska yleensä ennalta ei ole määrätty käytettävää suojalaittevalmistajaa. [6.]

5.3 Projektin luonti ja uuden laitteiston perustaminen

Ennen uuden laitteiston perustamista kannattaa luoda uusi projekti, jos projekti tulee sisältämään useita eri laitteistoja. Tällöin laitteistojen määrän kasvaessa niitä on paljon helpompi hallita, koska laitteistorekisterissä näkyy kaikki ohjelmalla luodut laitteistot. Projektikohtaiset laitteistot voidaan eritellä omaksi listakseen.

Uusi projekti luodaan laitteistorekisterivalikosta. Projektille annetaan haluttu nimi, jonka jälkeen siihen voidaan valita jo olemassa olevia laitteistoja, jos niitä on luotu. Laitteistorekisteristä voidaan myös määrittellä laitteistoille käyttöoikeuksia tai siirtää ja poistaa kokonaisia laitteistoja.

Kun projekti on luotu, voidaan perustaa uusi laitteisto. Uuden laitteiston määrittelyssä nimetään laitteisto ja valitaan, mihin projektiin se halutaan liittää. Tässä kohtaa voidaan myös vaihtaa jakelujärjestelmää ja kohtaa, josta laskenta aloitetaan, jos ne poikkeavat ohjelmaan määritellyistä perusasetuksista. Asiakastiedot sekä laitteiston osoitteet kannattaa täyttää jo laitteiston perustamisvaiheessa, koska ne tulevat näkyviin loppudokumentteihin.

Tässä laskelmassa ei järjestelmätietoja tai varoitustasoja tarvinnut muuttaa, koska oletusasetukset pätevät tässäkin tapauksessa. Kuten kuvasta 9 voidaan nähdä, laskenta aloitetaan pääkeskuksesta TN-C-S jakelujärjestelmällä ja mitoitusperustana käytetään vuonna 2012 julkaistua SFS 6000 -standardia. Laitteisto liitetään KVC 1 -nimiseen projektiin.

Laitteiston määrittely

Määrittely (Edeltävä verkko, Ensimmäinen keskus)

Laitteiston nimi: Kvarteret Victoria E-talo

Laitteiston numero:

Tilausnumero:

Mitoitusperusta: SFS 6000:2012

Jakelujärjestelmä: ☐ IT ☒ TN-C-S ☐ DC ☐ TT ☐ TN-S

Lasku mistä: ☒ Pääkeskus (Jakelupiste) (Liittymiskohta) ☐ Muuntaja

Järjestelmäjännite: 400

Verkkotaajuus: 50 [Hz]

Kokonaishäviöt: 1,68 [kW]

Perustamisvuosi: 24.11.2014

Viimeksi muutettu: 30.3.2015

Valitse projekti: Ei mikään projekti, KVC 1

Ref.merk. EN 81346

☐ Autom. luonti

Jännitealenemalaskelmat

Varoitustaso - yhteenlaskettu jännitealenema [%]: 5 [%]

Varoitustaso - jännitealenema keskuskeseen [%]: 2 [%]

Jakokeskuksen nimi josta jännitehäviö lasketaan: PKE/KC-E11

☐ Käytä yhteenlaskettua virtaa jännitealeneman laskemisessa

Asiakas, Laitteisto, Vast. lisenssinhaltija, OK, Keskeytä

Vihj.
Laitteiston nimen täytyy olla selkeä. Mikäli haluat käyttää samaa nimeä, tulee se erottaa esimerkiksi päivämäärällä tai versionumerolla. Jos laitteisto siirretään rekisteriin levykkeeltä FEBDOK varmistaa versionumerolla, ettei samannimistä laitteistoa ole rekisterissä. Versionumeroa ei voi muuttaa. Se katoaa ainoastaan jos laitteisto nimetään uudella nimellä.

Kuva 9. Laitteiston määrittely.

Edeltävän verkon tietoihin syötetään jakeluverkkoyhtiöltä saadut oikosulkuvirrat sekä tehokertoimet. Jos tietoja ei ole saatavilla, voidaan käyttää ohjelman oletusarvoja ja lisätä oikeat lukemat myöhemmin. Nyt tarkkoja arvoja ei saatu projektin alkuvaiheessa, mutta muuntajan läheisen sijainnin takia päädyttiin käyttämään hieman korkeampia arvoja kuin oletusarvot. Tarkat oikosulkuvirta-arvot lisätään laitteistoon myöhemmin.

Seuraavaksi annetaan tiedot ensimmäisestä keskuksessä eli tässä tapauksessa pääkeskuksessä. Keskukselle annetaan yksityiskohtainen tunniste ja kuvaus, jotta dokumenteissa tiedetään, mistä keskuksesta on kyse. Valikossa syötetään keskuksen kuormitustiedot ja valitaan maadoituksen tyyppi ja potentiaalintasaus, mikäli ne ovat käytössä. Keskukselle määritetään vielä jakelutyyppi ja vaihejärjestys. Kuvasta 10 nähdään pääkeskukselle annetut määrittelyt.

Laitteiston määrittely

Määrittely

Edeltävä verkko

Ensimmäinen keskus

Tunniste: PKE/KK-E11

Kuvaus: PKE/KK-E11

Vaihejärjestys jakelussa: PKE/KK-E11

☐ L1-L2-L3 ☒ L1-L2-L3-N

☐ L1-L2 ☐ L1-N ☐ L1-L2-N

☐ L1-L3 ☐ L2-N ☐ L1-L3-N

☐ L2-L3 ☐ L3-N ☐ L2-L3-N

Jakelutyyppi

☐ TN-S ☒ TN-C-S

☐ TN-C ☐ IT ☐ TT ☐ DC

Maadoitustyyppi

☒ Maadoituselektrodi ☐ Potentiaalintasaus

Tyyppi: Johdin/köysi + perusta

Kuormitustiedot

Ib [A]: 168,4

Cos phi: 0,96

Pn [kW]: 112

Sn [kVA]: 116,667

Ylijännitesuoja

☐ Asennettu

Kommentit

Jakokeskuksen käyttö

☒ Amm. tait. ☐ Maallikko

Standardin EN 60439 mukaan maallikoiden käytössä olevien jakokeskusten tulevan syötön ylivirtasuojan suurin nimellisarvo on 250 A ja lähtevien piirien enintään 125 A. Rajoitukset eivät koske sähköalalla ammattitaitoisia tai opastettuja henkilöitä.

Vihj.
On hyvä laittaa tarkentava teksti laitteiston tunnistamiseksi. Kuvaus voi sisältää sijaintitiedon, jolloin käyttäjän on helpompi tunnistaa dokumentti

Asiakas

Laitteisto

Vast. lisenssinhaltija

OK

Keskeytä

Kuva 10. Ensimmäinen keskus.

Kun kaikki edellä mainitut tiedot on annettu ja hyväksytty, laitteisto on perustettu ja voidaan aloittaa verkon rakentaminen. Asetuksia voidaan muokata jälkeenpäin, jos projektin edetessä esimerkiksi kuormitustiedot muuttuvat.

5.4 Jakokeskusten määrittäminen

Uusi jakokeskus lisätään ”Uusi jakokeskus”-painikkeesta. Ensimmäiseksi jakokeskuk-
selle annetaan tunniste ja tehotiedot samalla tavalla kuin pääkeskusta määriteltäessä.
Lisäksi jakokeskuksille tulee määritellä suojaustapa, kaapeli ja suojalaite.

Suojausvälilehdellä valitaan virtapiirille ylivirtasuojan tyyppi riippuen siitä, käytetäänkö
suojalaitetta yhdistettynä suojana, vai onko piirissä erillinen oikosulku- ja ylikuormitus-
suoja. Kohdassa valitaan myös, käytetäänkö erillistä vikavirtasuojakatkaisijaa, ja onko
ylijäännitesuoja tai lisäpotentiaalintasaus asennettu.

Kaapelia valittaessa tulee tietää kaapelin pituuden ja tyyppin lisäksi sen asennustapa,
rinnakkaisten piirien lukumäärä, ympäristön lämpötila sekä mahdollinen muu korjaus-
kerroin. Kaikki valinnat tulee määritellä mahdollisimman tarkasti, jotta kaapelin todelli-
nen virtakapasiteetti on oikea, eikä ylikuormituksesta aiheutuvaa lämpenemistä ja pa-
lovaaraa pääse syntymään.

Kaapelin asennustapa valitaan sen mukaan, millä on kaapelin asennusreitillä huonoin
virtakapasiteetti. Valikosta valitaan myös rinnakkaisten piirien lukumäärä, eli miten
monta kaapelia kulkee asennusreitillä rinnakkain. Jos asennustavaksi valitaan E eli
yleisesti käytetty tikashylly, ohjelma valitsee toiseksi korjauskertoimeksi 0,7. Tällöin ei
välttämättä tarvitse määrittää rinnakkaisten piirien lukumäärää, koska ohjelma ottaa
sen automaattisesti huomioon. Molempien korjauskertoimien käyttö voi johtaa tällai-
sessa tapauksessa turhan alhaiseen kaapelin virtakapasiteettiin. [6, s. 46.]

Kaapelityyppi valitaan listasta tai kirjoittamalla haluttu kaapeli sille määrättyyn kohtaan.
Listasta valittaessa voidaan käyttää suodattimia, joilla voidaan rajata kaapeli joko tyy-
pin, johdinmateriaalin tai vaiheellisten johtimien lukumäärän mukaan. Ohjelma rajaa
automaattisesti virtakapasiteetiltaan liian pienet kaapelit pois näkymästä, jollei niitä
eritysesti haluta nähdä. (Kuva 11, ks. seur. s.)

Kuva 11. Kaapelin määrittäminen.

Kuten kuvasta 11 voitiin nähdä, valitun kaapelin tiedot tulevat näkymään kaapelivalikkoon. Tästä nähdään esimerkiksi kyseisen kaapelin jännitteenalenukset, maksimipituus ja kaapelin häviöt. Tässä kohtaa on myös hyvä kiinnittää huomiota kaapelin virtakapasiteettiin ja kuormavirtaan. Jos lukemat ovat hyvin lähellä toisiaan, kannattaa ehkä valita mahdollisten laajennuksien varalta hieman suurempi kaapeli.

Piirin suojalaitetta valittaessa ohjelma käyttää aiemmin annettuja tietoja hyväkseen rajataksaan laajasta valikoimasta näkyviin vain piiriin soveltuvat suojalaitteet. Näitä tietoja ovat suunnitteluperusteet kohdassa näkyvät suojalaitteen näkemä kuormavirta, kuormitettavuus sekä suurin ja pienin vikavirta. Tämän lisäksi käyttäjän täytyy määritellä käytetäänkö suojauksessa johdonsuojakatkaisijaa, katkaisijaa, moottorinsuojaa vai sulaketta. Mitä enemmän tarkentavia tietoja käyttäjä antaa suodattaakseen suojalaitteita, sitä paremmat vaihtoehdot ohjelma antaa. Lopuksi jäljelle jääneiden suojien soveltuvuus voidaan tarkastaa painamalla ”tarkista suojalaitteet listassa” -painiketta. Tällöin ohjelma ilmoittaa, mitkä suojalaitteet ovat piiriin sopivia.

Kun suojalaite on saatu valittua, voidaan sen tietoja tarkastella ”I/t Kaapeli” -välilehdellä. Kohdassa näkyy kaikki suojalaitteen tiedot ja sen näkemät vikavirrat sekä poiskytkentäajat. Jos valittua suojalaitetta edeltää toinen suojalaite, voidaan niiden keskeistä selektiivisyyttä tarkastella ”Selektiivisyys” -välilehdeltä.

Jakokeskus: MK-E11 **Piiri johdonkin: Jakokeskus** **Vaadittu laukaisuaika maasulku 5 s**

Kuorma
Suojaus
Muuntaja
Kaapeli
Kaapeli

Ylivirtasuojat
Valitse **Poista**
I/t Kaapeli
Säätö **Tieto**

Suojaus tiedot

Tunniste	
Katkaisijaluokka	SULAKKEET
Valmistaja	IEC
Katk. yksikkö	IEC_GG
Nimellisvirta [A]	25
Laukaisijaluokka	NIH-SULAKE
Laukaisuyksikkö	25A
Katkaisukyky [kA]	120 Ic
Maks. pit. suhteessa maasulun poiskytkentään	362
Kaapelin kuormitettavuus	42

Suojalaitteen näkemät vikavirrat [kA]

Ik3p max	9,502
Ik3p max loppu	4,167
Ik3p min	1,248
Ik2p max	8,229
Ik2p max loppu	3,609
Ik2p min	1,081
Ik1p max	3,378
Ik1p max loppu	1,783
Ik1p min	0,894
Ijf max	3,337
Ijf max loppu	1,768
Ijf min	0,889

Poiskytkentäajat [s]

Suojan	$k^2 S^2 / I^2$
0,01	< 0,1
0,01	< 0,1
0,01	0,849
0,01	< 0,1
0,01	0,102
0,01	1,132
0,01	0,116
0,01	0,416
0,01	1,655
0,01	0,119
0,01	0,423
0,01	1,673

Selektiivisyys

OK **Keskeytä**

Paina kenttää vian paikallistamiseksi

Kuva 12. Suojalaitteen tiedot.

Jos suojalaite on oikein valittu, ja se täyttää kaikki standardin määrittämät vaatimukset, näyttävät suojalaitetiedot samalta kuin kuvassa 12. Jos suojalaite ei ole sopiva tai suojauksessa on huomautettavaa, punaisella tai sinisellä pohjalla oleva huomautus ja varoitusteksti näkyvät tällä välilehdellä.

Jakokeskuksia lisätään laitteistoon tarvittava määrä. Jos verkko on erittäin suuri, kaikkia keskuksia ei ole välttämättä pakko lisätä. Tällöin samanlaisista keskuksista valitaan kauimmat ja suuritehoisimmat ja mallinnetaan niiden suojauksen toimivuus.

5.5 Kuormien määrittäminen

Kuormien lisääminen tapahtuu päänäkökymän painikkeista sen mukaan, minkälaisista kuormista ollaan lisäämässä. Eri kuormatyyppejä ovat moottori, vaihteleva kuorma eli pistorasiat, kiinteä kuorma sekä jaettu kuorma.

Kun haluttu kuormatyyppi on valittu, kuorman määrittäminen tapahtuu täysin samalla tavalla kuin jakokeskuksen määrittäminen. Kuormalle annetaan tunnistetunnus ja tehotiedot, valitaan suojaustapa sekä määritellään kaapeli ja suojalaite. Kuormia lisätään tarvittava määrä jakokeskuksen perään. Yleensä riittää, että määritellään kauimpana sijaitsevat pistorasia- ja valaistuskuormat. Tällöin voidaan todeta, että myös muissa tapauksissa suojaus on toimiva.

5.6 Dokumentointi

Kun sähköverkko on saatu mallinnettua, ja kaikki halutut jakokeskukset, kaapelit ja kuormat on lisätty, laitteistosta tulostetaan tarvittavat dokumentit. Tulostaminen tapahtuu Dokumentit/tulostukset -valikosta.

Tulostusikkunasta valitaan halutut tulosteet, tulosteiden kieli ja formaatti. Kaikkia mahdollisia tulosteita ei välttämättä aina tarvita, joten valitaan vain oleelliset kohdat. Kuvassa 13 (ks. seur. s.) esitetään, mitkä tulosteet valittiin tulostettaviksi tässä projektissa. Dokumentointi esitetään liitteessä 1.

Valitse tulostus

☒ Kansisivu
☒ Pää tiedot
☐ Pääjohtokaavio, pysty
☒ Pääjohtokaavio, vaaka
☒ Jakokeskusaavio
☐ Virtapiirit
☒ Jakokeskusten vikavirrat
☒ Yksityiskohtainen piiriluettelo
☐ Suojalaitteasetukset
☐ Mitoitustulokset
☐ Yksinkertaistettu piiriluettelo 2
☒ Selektiivisyysanalyysi
☒ Piirien virhelista
☐ Lisäteksti virtapiirit
☐ Poikkeamakaavio
☐ Laitteiston kaapelityypit
☐ Kiskotyypit laitteistossa
☐ Suojalaitetyypit laitteistossa
☐ Etuliitekuvaus piiriluettelo
☐ UPS kysely
☐ Generaattorikysely

☐ Varmennus / tarkistuslista

Käyttäjän ohje

☐ Vikavirtasuoja
☐ Vikavirtavaltio

Tulosta jakokeskukset?

☒ Kaikki ☐ Akt.
☐ Kaikki ☐ Akt.
☒ Kaikki ☐ Akt.
☐ Kaikki ☐ Akt.
☐ Kaikki ☐ Akt.
☒ Kaikki ☐ Akt.
☒ Kaikki ☐ Akt.
☐ Kaikki ☐ Akt.
☐ Kaikki ☐ Akt.

Tulosta virtapiirit?

☐ Kaikki ☐ Merkitty
☐ Kaikki ☐ Merkitty

Formaatti

☒ A4
☐ A3
☐ A2
☐ A1
☐ A0

Kieli

☐ Englantil.
☒ Suomal.

Valitse/poista kaikki

Keskeytä OK

Kuva 13. Tulostusikkuna.

Jos tulostusikkunasta valitaan kaikki mahdolliset kohdat, tulee dokumentista helposti yli 100-sivuinen tuloste. Sivumäärä tietysti riippuu laitteiston koosta, mutta silti se ei ole lainkaan käytännöllinen. Urakoitsija joutuisi käyttämään huomattavan määrän aikaa tulkitakseen dokumenteista suojauksen toimivuuden jokaisessa virtapiirissä erikseen, kun sitä ei mainita yksiselitteisesti missään. Piirien virhelistasta asian voisi todeta, mutta se ei tulostu ollenkaan, jos huomautettavaa ei ole.

6 Tulosten käsittely

Febdokilla saatiin mallinnettua esimerkkitilanteen sähköverkko suunnitellusti. Saaduista tuloksista voitiin todeta, että verkko on mitoitettu oikein, ja se toimii vikatilanteissa niin kuin pitää. Tuotettuja dokumentteja voidaan käyttää hyödyksi sähkösuunnitelmien liitteenä. Dokumenteista käy ilmi, että asennus täyttää kaikki standardin vaatimat suojauksen perusvaatimukset. Dokumentointi esitetään liitteessä 1.

Työtä tehdessä havaittiin, että Febdokin käyttäminen sähköverkon mitoituksessa on huomattavasti käytännöllisempää verrattuna ennen käytössä olleeseen Excel- taulukkoon. Kaupallista ohjelmaa käytettäessä voidaan minimoida käyttäjien virheiden mahdollisuus, ja sen myötä karsia ylimääräisiä kustannuksia, jotka kertyisivät mahdollisista virheellisistä asennuksista.

Laitteistojen helppo muokattavuus ja ohjelman jatkuva kehitys vaikuttivat siihen, että Febdokin käyttöä päätettiin jatkaa yrityksessä myös tulevaisuudessa. Ohjelmistolla tuotetut dokumentit tullaan liittämään jatkossa kaikkiin projekteihin, joissa niitä vaaditaan.

7 Yhteenveto

Työn tavoitteet saavutettiin ottamalla yrityksen käyttöön FebDok - verkostolaskentaohjelmisto sähkösuunnittelun työkaluksi. Se helpottaa suunnittelijoiden työtä, ja sillä pystytään tuottamaan nykystandardien mukaiset dokumentit sähköverkon mitoituksesta ja suojauksen toimivuudesta.

Työssä tehtyjen havaintojen perusteella mikään käytetyistä verkostolaskentaohjelmista ei kuitenkaan ole täydellinen. Jokaisessa ohjelmassa on omat ongelmansa ja rajoitteensa, mutta jatkuvalla kehitystyöllä ja päivityksillä voidaan suurimmasta osasta päästä eroon. Tämä vaatii ohjelmistojen ylläpitäjiltä, sekä ohjelmistojen käyttäjiltä jatkuvaa työtä. Käyttäjien on annettava palautetta käytettävyydestä ja havaituista ongelmista, jotta ylläpitäjä voi korjata virheet ja parantaa käyttöliittymää.

Työn ohessa laitettiin monia kehitys- ja korjausehdotuksia FebDokin ylläpitäjille. Ohjelmassa on vielä paljon käänkösvirheitä sekä puutteita suojalaitetiedoissa, joista raportoitiin aina niitä havaittaessa. Myös uusia ominaisuuksia, kuten vian simulointimahdollisuutta ja yksinkertaisempaa dokumentaatiota ehdotettiin.

Ohjelmat ovat kehittymässä entistä monipuolisemmiksi ja havainnollistavimmiksi, mutta samalla niiden helppokäyttöisyyttä tulisi lisätä. Valikoiden yksinkertaistaminen sekä käyttöliittymän päivitys käyttäjäystävällisemmäksi olisi tarpeen ainakin tässä työssä tarkasteltuihin ohjelmistoihin.

Ohjelmia käytettäessä on kuitenkin huomioitava, että viimekädessä vastuu on ohjelman käyttäjällä. Ohjelmasta saatuja tuloksia on kyettävä tulkitsemaan, eikä niihin pidä luottaa sokeasti. Ammattitaitoisten suunnittelijoiden merkitys korostuu, kun ohjelmaa käytettäessä täytyy tietää mihin ohjelman antamat tulokset perustuvat, tai jos ohjelma jostain syystä antaa vääriä tuloksia.

Lähteet

- 1 SFS-Käsikirja 600-1. Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000. Pienjännitesähköasennukset 2012.
- 2 D1-2012. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista.
- 3 ST 52.51.02. Sähkön laatu. Jännitteenaleneman mitoittaminen. Sähkötieto ry. 2006.
- 4 ST 53.13. Kiinteistön sähköverkon suojauksen selektiivisyys. Sähkötieto ry. 2008.
- 5 Kvarteret Victoria verkkosivut. <http://www.kvarteretvictoria.fi/> Luettu 9.12.2014.
- 6 Febdok käyttöohje. Sähköinfo Oy. 2011.

Asennuksen dokumentointi